

Capítulo 12

Naves industriales

El sistema de naves industriales y bodegas es un sistema de construcción prefabricada para el techado y cerramiento de grandes áreas, para su uso como bodegas de almacenamiento e instalaciones industriales de todo tipo (por ejemplo: supermercados e instalaciones industriales).

El sistema constructivo está diseñado para proyectos de más de 1000 m² y es sumamente flexible. Sus grandes claros entre columnas (hasta 31 m en los marcos principales y 12 m en los marcos de amarre), permiten espacios interiores sumamente amplios. Con ello se logra una distribución de planta de gran amplitud, limpieza y funcionalidad. Pueden construirse naves industriales con luces entre columnas aún mayores, en caso de que sea conveniente para el proyecto específico.

Los sistemas prefabricados para naves industriales y bodegas se basan en la prefabricación independiente y ensamble en sitio de diversos elementos de concreto de gran tamaño y con diseño estructural altamente optimizado. La estructura primaria de este sistema está constituida por largueros de concreto pre-esforzado, vigas de carga de techo postensadas de hasta 31 m de luz entre columnas, vigas de amarre de techo, vigas canoa, columnas y placas de fundación prefabricadas.

Adicionalmente se emplean tensores de varilla en el techo para conformar un diafragma flexible. Las naves industriales y bodegas pueden ser cerradas empleando paneles estructurales y no estructurales según se requiera por razones estructurales, arquitectónicas o funcionales.

Pueden emplearse otros componentes prefabricados cuando se requiera, tales como fundaciones de pilotes, muros de retención para andenes y mezzanines o entrepisos prefabricados.

A través de un apropiado análisis estructural puede identificarse la idoneidad de integrar dichos subsistemas a la estructura primaria de las naves, para evitar la construcción de más placas y columnas de las requeridas.

Para detalles acerca de los subsistemas de pilotes, entrepisos, paneles de cerramiento y muros de retención, refiérase a los capítulos 5, 8, 9 y 10 respectivamente. Este capítulo se centra en la descripción de la estructura primaria del sistema de naves industriales y bodegas. Se presentan también ayudas para el diseño y especificación, así como recomendaciones para el almacenaje de las piezas y el proceso de construcción.

Los elementos que conforman los sistemas para naves industriales tienen todas las ventajas que ofrece la prefabricación:

- Ahorro de formaleta en sitio
- Reducción de mano de obra en sitio
- Reducción del plazo constructivo así como de los costos financieros y administrativos asociados.
- Altos controles y estándares de calidad que además posibilitan el uso rutinario de concretos de alto desempeño tales como: concretos de alta resistencia (CAD) de hasta $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$ para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez; concretos autocompactantes (CAC), para la mejora de los acabados, etc.
- Uso rutinario del concreto preesforzado para la económica solución de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: vigas de grandes luces, grandes voladizos, reducción de secciones, control de agrietamiento y control de rigidez.

Las conexiones entre los componentes prefabricados de las naves industriales pueden realizarse de acuerdo con los cuatro tipos de conexiones que establece el Código Sísmico de Costa Rica en su capítulo 12: Estructuras y componentes prefabricados de concreto. No obstante, el sistema ha sido concebido para que las conexiones entre los elementos estructurales sean del tipo húmedo, de tal manera que se cuente con un comportamiento monolítico y redundante (para más detalles, véanse tipos de conexiones, en el capítulo 13 sobre sistemas para edificios).

Productos de Concreto S.A. también ofrece soluciones de naves industriales para casos especiales en los que la operación y funcionamiento requiere de claros mayores entre columnas. Con algunas variaciones al sistema y empleando conexiones postensadas, pueden alcanzarse luces de hasta 36 m entre columnas.



Mediante el empleo de vigas I, se han construido instalaciones de hasta 50 m de luz, además de pendientes mayores en los techos y conexiones postensadas.



Nave industrial Abopac, récord nacional en concreto, por sus luces de 50 metros

12.1 Materiales

- **Concreto:** El concreto utilizado en la planta de Productos de Concreto S.A. tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 280 kg/cm^2 para fundaciones reforzadas y de 350 kg/cm^2 para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos pretensados (con excepción de la Losa Lex) la resistencia a los 28 días es de 700 kg/cm^2 . En el caso de la Losa Lex la resistencia mínima a la compresión es de 420 kg/cm^2 .
- **Cemento:** El cemento está conforme a la especificación del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 383:2004.
- **Agregados:** Los agregados están conforme a la especificación ASTM C-33.
- **Refuerzo:** El acero de preesfuerzo está conforme a la especificación ASTM A-416 (Grado 270) y el acero de refuerzo de acuerdo con ASTM A-706 y ASTM A-615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

12.2 Normativa vigente

- **Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010):** Establece las cargas vivas mínimas, los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados y edificaciones.
- **Código de Cimentaciones de Costa Rica,** Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2 edición: Establece los requisitos de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y muros de retención para su uso en edificios.

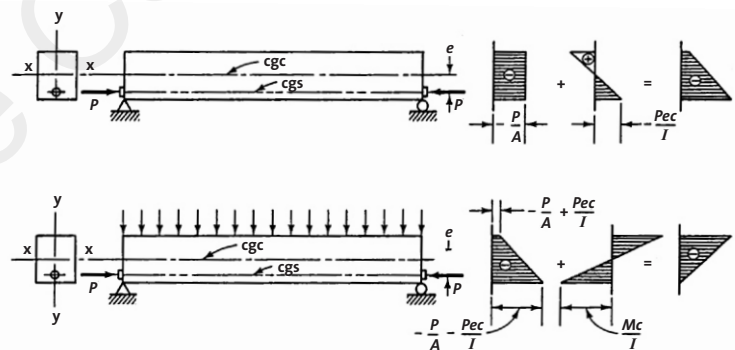
- **ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary:** Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, torsión, tensión y cortante.
- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 37-02).
- Manual de Diseño del Instituto del Concreto Prefabricado (PCI Handbook).

12.3 Criterios para uso y especificación

Concreto reforzado y concreto preesforzado

Los sistemas prefabricados para naves industriales hacen uso extensivo de la tecnología del preesforzado para la solución de los problemas de ingeniería. Algunos componentes, como las vigas de techo, los largueros de techo, las vigas de entrepiso, los paneles de cerramiento y los entrepisos utilizan de rutina el acero preesforzado, ya sea para el control de deflexiones, control de agrietamiento, reducción de las secciones y del peso, incremento de la rigidez o una combinación de los anteriores. Existen diversas filosofías para el diseño de elementos del concreto preesforzado, pero la más usual consiste en garantizar que las secciones estén sin agrietamiento por flexión para las cargas de servicio (ACI 3018-08, Capítulo 18).

Fig. 12.1 Diseño sin agrietar de elementos preesforzados para cargas de servicio



Esto tiene importantes implicaciones en la economía de las soluciones y en los supuestos de los métodos de análisis estructural. Una primera consideración será que para el análisis estructural para cargas gravitacionales, será apropiado usar en vigas el momento de inercia de la sección sin agrietar (I_g). Para el análisis sísmico por los métodos estático o dinámico puede usarse un momento de inercia de alrededor de $0.80I_g$, con el objeto de tomar en cuenta que existe agrietamiento localizado en las zonas de rótulas plásticas.

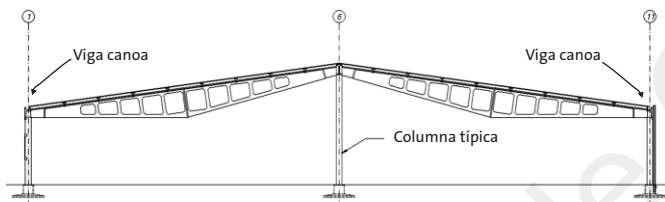
En relación a la rigidez, es importante mencionar que los concretos de los componentes preesforzados usualmente tendrán resistencias a los 28 días superiores a los concretos normales, en el orden de los 420 a 700 kg/cm^2 . El módulo de elasticidad del concreto debe ser empleado en forma apropiada en el análisis estructural.

El uso del preesfuerzo en los sistemas de naves industriales permitirá la solución económica de espacios con grandes luces o grandes voladizos que de otra forma presentarían deflexiones significativas si se resuelven con concreto reforzado convencional.

Vigas de techo y pendientes de techo

Las vigas de techo, que pueden ser de alma abierta o cerrada, son sumamente esbeltas debido al uso del concreto preesforzado y poseen un alto valor estético. Cuando son de alma abierta facilitan a la vez las instalaciones eléctricas y mecánicas. Estas vigas soportan los largueros preesforzados de sección T, los que a su vez soportan la cubierta metálica (que por lo general es de canaleta estructural o sistemas similares con o sin capas de aislante térmico). Dependiendo de la capacidad hidráulica y juntas del sistema de cubierta empleado, se puede trabajar con pendientes de techo de entre un 6% y 14%. Si se emplea el sistema con vigas de alma abierta se requiere fijar la pendiente a un 14%. La cubierta de techo descansa en sus puntos más bajos en vigas canoa, que cumplen una doble función como canoas y como vigas de amarre del sistema estructural.

Fig. 12.2 Marco típico con vigas de alma abierta y pendiente del 14% en techos



Conexiones viga-columna

Productos de Concreto S.A. ha demostrado a través de pruebas estructurales de nudos viga-columna realizados en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) que las uniones viga-columna con base en elementos prefabricados detalladas adecuadamente pueden alcanzar ductilidades iguales o superiores a las estructuras coladas en sitio, con niveles de daño consistentemente menores. La experiencia a nivel mundial respalda estos resultados.

En el caso de las naves industriales de PC, el diseñador puede emplear ductilidades globales como las especificadas por el Código Sísmico de Costa Rica para estructuras de concreto reforzado.



Pruebas estructurales realizadas en el LANAMME.

El buen comportamiento de sencillas conexiones en concreto contrasta con el complicado detallado que se requiere para garantizar conexiones apropiadas en sistemas compuestos por elementos de acero estructural. Es fundamental rigidizar el diafragma flexible de techo mediante el empleo de tensores de techo.

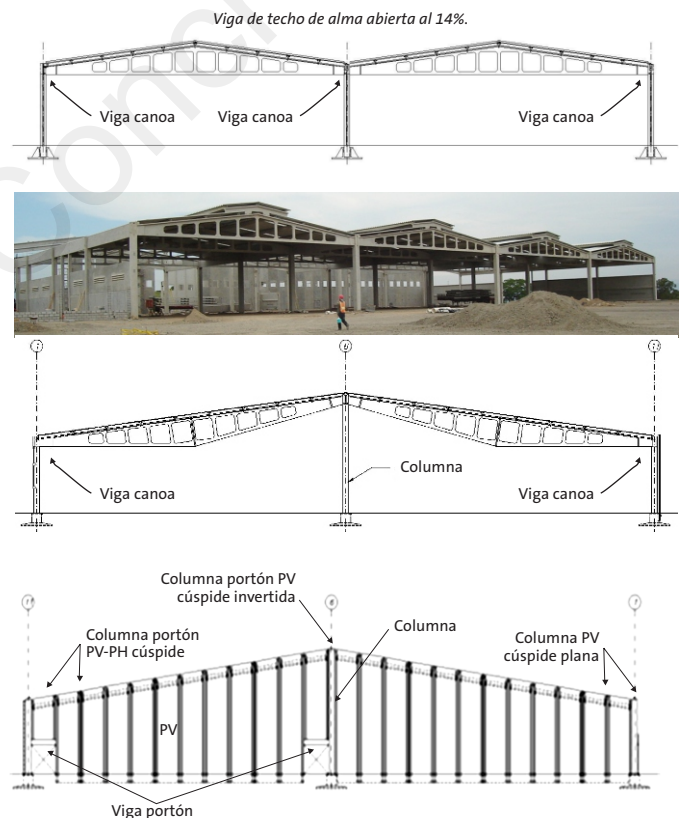
Diafragmas de entrepiso

Cuando se proyectan mezzanines es importante tener en consideración que los diafragmas compuestos por entrepisos prefabricados PC y sobrelosa colada en sitio pueden ser considerados como diafragmas rígidos. Como en todo diafragma, su resistencia debe ser verificada con los métodos establecidos en el Código sísmico de Costa Rica o el capítulo 21 del ACI 318-08.

12.4 Ayudas de diseño para naves industriales

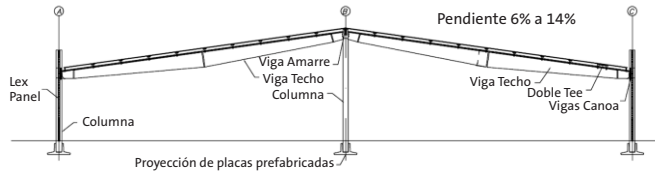
Tipologías constructivas básicas

Fig. 12.3 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m



Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma abierta en colocación invertida y paneles verticales de cerramiento en los ejes externos.

Fig. 12.3 (continuación)



Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma llena invertida y Lex-panel como cerramiento en los ejes de amarre.

A continuación se presentan los principales elementos que conforman el sistema de naves industriales, con ayudas de diseño y detalles pertinentes para la proyección de estructuras.

Advertencia: Las tablas y figuras siguientes constituyen ayudas de diseño para el dimensionamiento preliminar. Es responsabilidad del diseñador estructural la revisión de demandas ante carga laterales de viento y sismo, así como la verificación de los desplazamientos laterales permitidos. Entre sus opciones, el diseñador puede incorporar al sistema paneles verticales que actúen como muros estructurales prefabricados en aquellos puntos donde lo juzgue apropiado.

Placas de fundación

Son elementos capaces de transmitir las cargas axiales los cortantes y los momentos flectores al suelo. Se fabrican en sección variable de 15 a 30 cm de espesor. Las dimensiones de estas placas se han estandarizado y se muestran en la siguiente figura.

Fig. 12.4 Dimensiones de placas de fundación

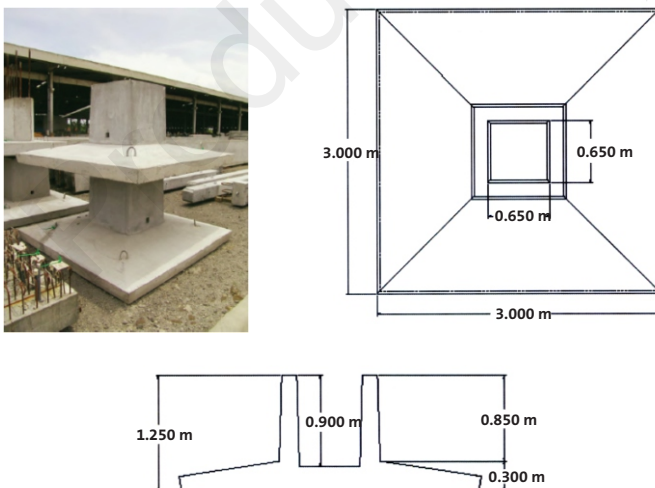
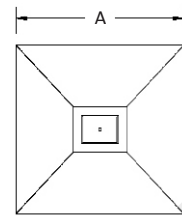


Tabla 12.1 Geometrías disponibles para la losa de la placa

A (m)	B (m)	Ap (m²)	S1 (m³)	S2 (m³)
1.80	1.80	3.24	0.97	0.97
2.10	2.10	4.41	1.54	1.54
2.40	2.40	5.76	2.30	2.30
2.70	2.70	7.29	3.28	3.28
3.00	3.00	9.00	4.50	4.50
2.10	2.40	5.04	1.76	2.02
2.40	2.70	6.48	2.59	2.92
2.70	3.00	8.10	3.65	4.05

Ap = Área de la placa S1 = Módulo de sección, dirección corta
S2 = Módulo de sección, dirección larga



Dimensiones para referencia a la tabla y geometría de un manguito

En naves industriales de concreto es usual y conveniente que los apoyos al terreno se consideren empotrados. Por lo tanto, se requiere una conexión de momento entre las columnas y las placas de fundación, la cual se logra a través de un manguito o especie de candelero previsto en la placa en el que se inserta la columna. La junta se llena con concreto fluido con aditivo estabilizador de volumen. Alternativamente, puede emplearse una conexión húmeda ciega (véase capítulo 13 sobre edificios prefabricados).

Las dimensiones B x L de las placas de fundación dependerán de la capacidad soportante del suelo y de las fuerzas que son transmitidas por la estructura. Serán críticas las combinaciones de carga que induzcan altas cargas axiales, altos momentos flexionantes en combinación con altas cargas axiales y altos momentos flexionantes en combinación con bajas cargas axiales (volteo).

Fig. 12.5 Detalle típico de fundación con placa prefabricada para nave industrial

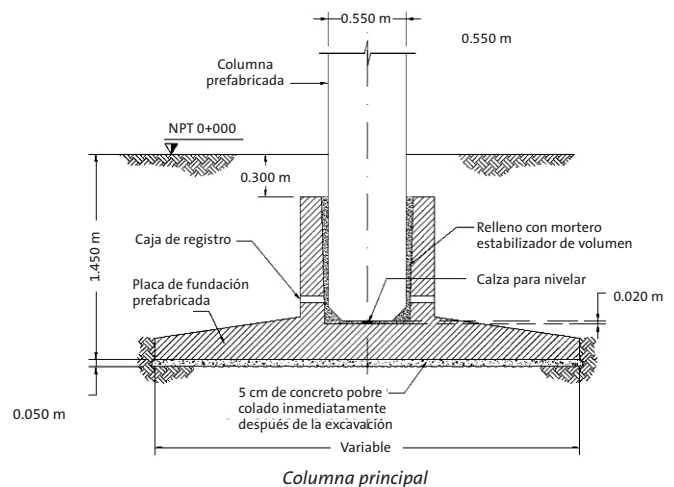
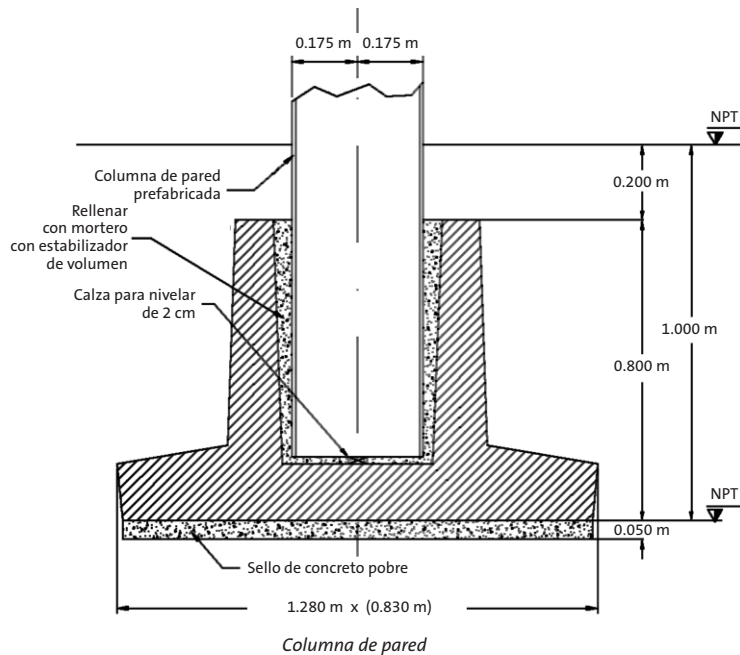


Fig. 12.5 (continuación)



Una vez establecidas las dimensiones de las placas puede emplearse la tabla 12.2 para determinar si las placas estándar pueden resistir las fuerzas internas de: a) flexión de la losa, b) cortante en la losa y c) capacidad por punzonamiento. En caso de que la capacidad a flexión sea insuficiente pueden construirse placas con cuantías de acero longitudinal mayores. En naves industriales rara vez controlan los criterios de punzonamiento.

Columnas

Pueden ser detalladas como elementos de ductilidad local moderada u óptima. La unión con la viga de techo y con las vigas de amarre se detalla como una conexión húmeda según el apartado 12.4b del CSCR-2010.

Las columnas de naves industriales con frecuencia tienen cargas axiales bajas, por lo que se comportan esencialmente como vigas, según la definición del CSCR. Las dimensiones de las columnas están controladas principalmente por aspectos constructivos (dimensiones mínimas del nudo para la instalación de las vigas) y por las limitaciones a los desplazamientos laterales producidos por las acciones sísmicas.

Fig. 12.6 Columnas llenas sin llaves y columnas sección I (con llaves)



Como cada vez son más frecuentes altas cargas de techo, se presentan en la figura 12.7 diagramas de interacción para columnas de 40x40 cm, 40x55 cm y 55x55 cm de sección llena. Cuando se emplean paneles horizontales no estructurales, las columnas se fabrican con una llave que permite la inserción de los paneles. Estos diagramas de interacción pueden usarse en forma segura para predecir la capacidad a flexión de columnas con llaves (sección I), si las cargas axiales son bajas. Cuando se comporten como columnas, rara vez se requerirán cuantías de acero superiores al 1 - 2%.

Dependiendo de la tipología constructiva (con viga de techo colocada normalmente o en forma invertida) las columnas pueden tener una cúspide plana o cúspide invertida, como se muestra en la figura 12.8.

En la figura 12.9 se presentan los accesorios estándar para columnas: gazas para el izaje y ductos u otros dispositivos para el apuntalamiento temporal.

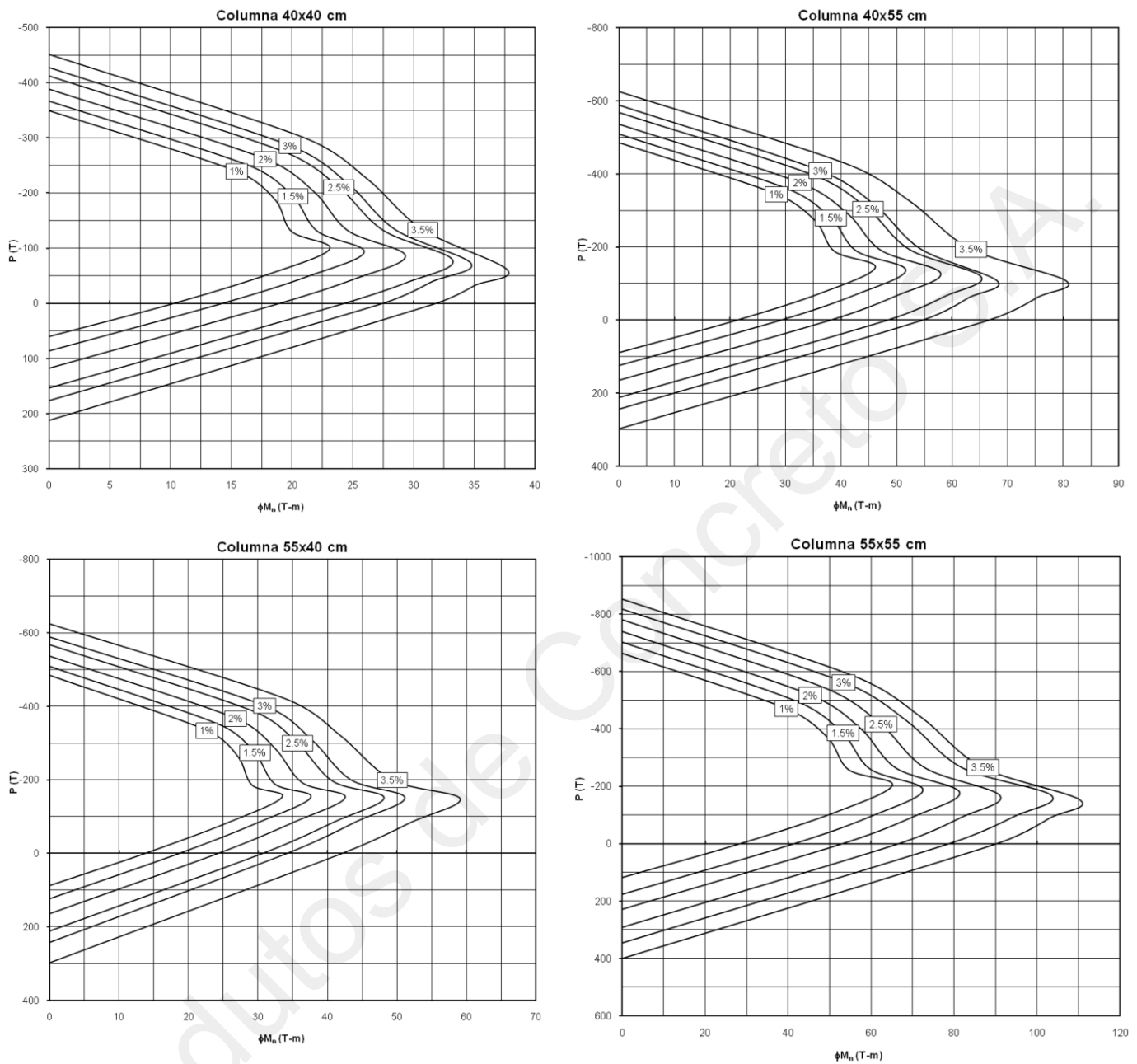
El acabado de las columnas es rugoso en la base, para mejorar la adherencia entre la columna y el concreto de relleno de los manguitos de las placas prefabricadas.

Tabla 12.2 Capacidades de las placas estándar

Sección de la columna	Ancho externo del manguito (cm)	Largo externo del manguito (cm)	Capacidad máxima a flexión de la losa ϕMn (T-m/m)	Capacidad a cortante por punzonamiento ϕVn (Ton)	Capacidad máxima a cortante de la losa ϕVn (Ton/m)
40 x 40	80	80	9.28	122	14.5
40 x 55	80	95	9.07	128	14.1
55 x 55	95	95	9.07	136	14.1

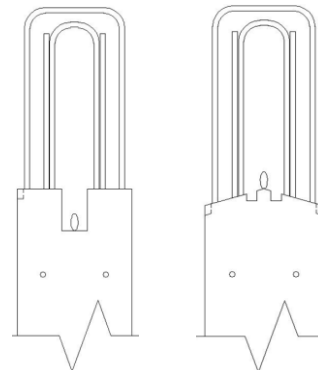
La resistencia de las placas es de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Las capacidades a flexión y cortante de la losa se dan en la cara del manguito. Se emplean factores de reducción de carga de 0.9 para flexión y 0.75 para cortante. El espesor de la placa y su refuerzo corresponden al diseño estándar.

Fig. 12.7 Diagramas de interacción para columnas según cuantía de acero



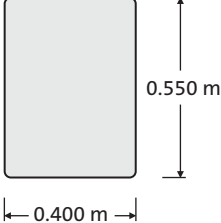
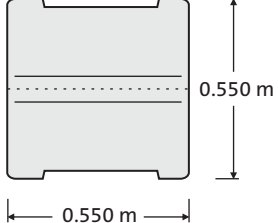
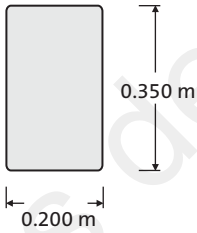
Las columnas pueden construirse con ménsulas para el soporte de vigas que permiten el tránsito de grúas viajeras. Las secciones estándar de columna se muestran en la tabla 12.3.

Fig. 12.8 Cúspide de las columnas

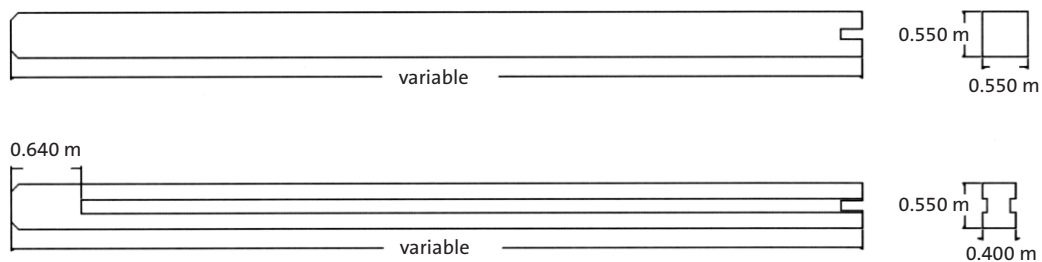


Cúspide de las columnas:
a) plana
b) invertida

Tabla 12.3 Secciones estándar de columnas

Elemento	Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación	
		Área transversal A_c (cm ²)	Inercia I_{xx} (cm ⁴)	Ubicación del centroide y_c (cm)	Resistencia a compresión f'_c (kg/cm ²)	Peso por metro lineal (kg/m)
Columnas (C)	0.40 x 0.55 m 	2200	$I_{xx} = 5.55 \times 10^5$	$x_c = 20.0$	350	550
			$I_{yy} = 2.93 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	0.55 x 0.55 m 	3025	$I_{xx} = 7.63 \times 10^5$	$x_c = 27.5$	350	756
			$I_{yy} = 7.63 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	De pared 	700	$I_{xx} = 7.15 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	175
			$I_{yy} = 2.33 \times 10^5$	$y_c = 17.5$		
		502	$I_{xx} = 6.70 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	126
			$I_{yy} = 1.30 \times 10^5$	$y_c = 17.5$		

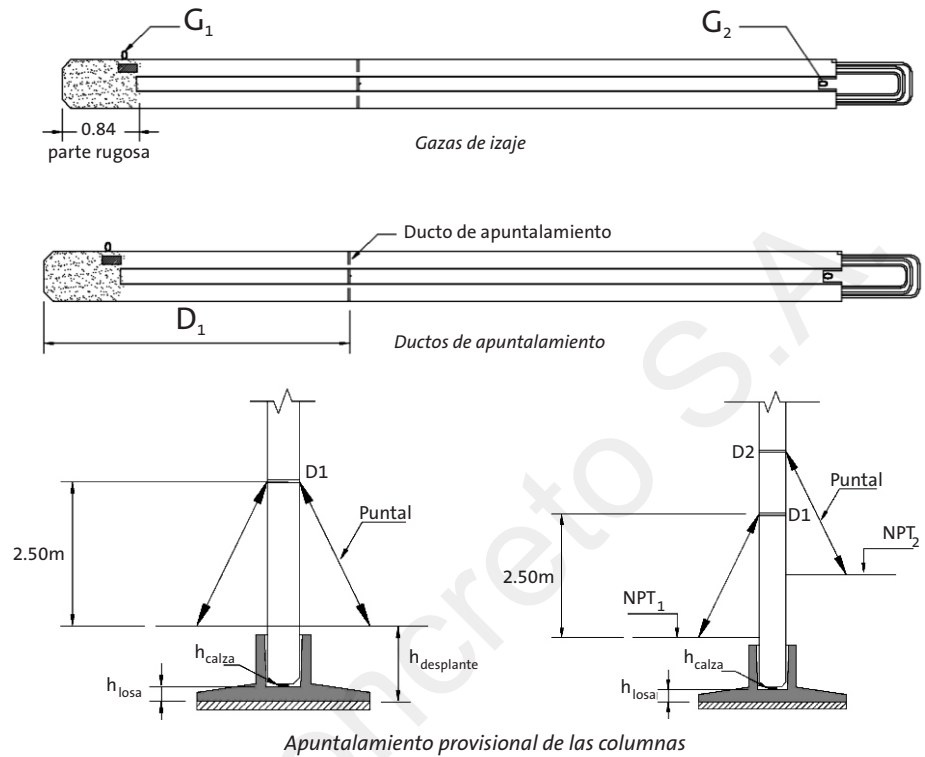
Usada cuando se requiere buques de portón.





Acabado rugoso de la base de la columna

Fig. 12.9 Accesorios para izaje y apuntalamiento provisional de las columnas



Las posiciones de los ductos y gazas son establecidas según se requiera en el proyecto específico, e indicadas en los planos de taller de las columnas

Vigas de techo de alma abierta

La viga de techo de alma abierta es un elemento muy versátil y eficiente desde el punto de vista estructural y de alto valor estético.

Las vigas de techo se pueden disponer en diferentes orientaciones, según las necesidades de cada proyecto. Puede ser empleada en posición normal o en forma invertida, de tal manera que se eliminen las canoas internas o se reduzca su cantidad. Siempre se emplea una pendiente de techo del 14% cuando el alma es abierta.

En caso de ser necesario, debido a uso mixto de las instalaciones o por otras razones, las vigas pueden ser rellenas. En ese caso y si la lámina de techo seleccionada lo permite pueden emplearse pendientes de techo aún menores (véanse vigas de techo de alma llena "VTL").

La viga de alma abierta permite resolver luces desde los 18 m hasta los 31 m. La geometría de las vigas de alma abierta se muestran en las tablas 12.5 y 12.6. Para luces superiores a los 24 m se utilizan bracones para estabilización lateral de la cuerda inferior (fig. 12.10). La cuerda inferior de la viga de techo se postensa antes del montaje y se diseña para mantenerse sin agrietamiento, incluso para las cargas del servicio.



Viga de techo de alma abierta (Virendel)

Tabla 12.4 Geometría de los elementos de viga de techo alma abierta

Cuerda superior					Cuerda inferior	
ancho ala (m)	espesor alma (m)	altura ala (m)	altura en transición (m)	altura total (m)	ancho (m)	altura (m)
0.50	0.12	0.08	0.05	0.35	0.12	0.20 y 0.30

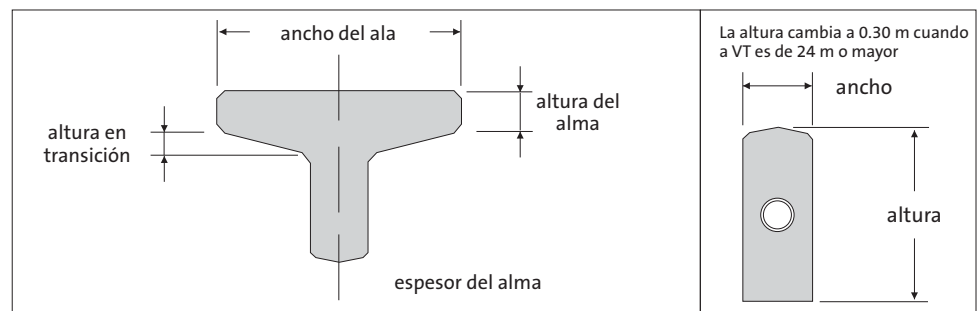
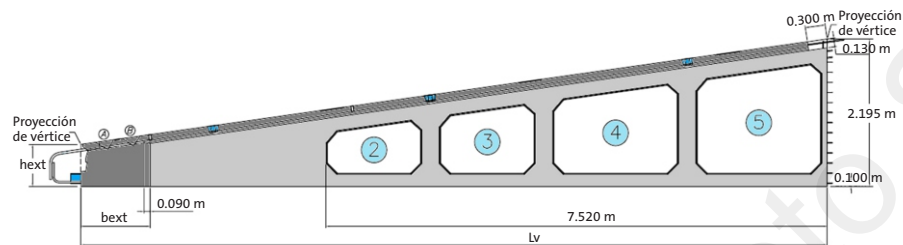


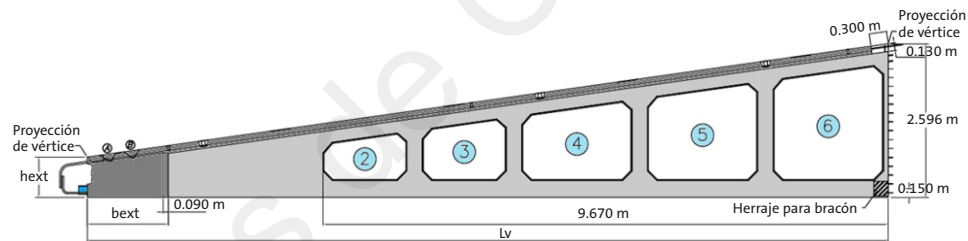
Tabla 12.5 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición normal

Se consideran a) una junta central de 10 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.195	20	0.20	19.45	9.7	0.837	0.415
		21	0.20	20.45	10.2	0.767	0.915
		22	0.20	21.45	10.7	0.697	1.415
		23	0.20	22.45	11.2	0.627	1.025



Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.30	23.45	11.7	0.837	0.415
		25	0.30	24.45	12.2	0.767	0.915
		26	0.30	25.45	12.7	0.697	1.415
		27	0.30	26.45	13.2	0.627	1.025
		28	0.30	27.45	13.7	0.678	1.375



Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.766	29	0.30	28.45	14.2	0.778	0.63
		30	0.30	29.45	14.7	0.708	1.13
		31	0.30	30.45	15.2	0.638	0.63

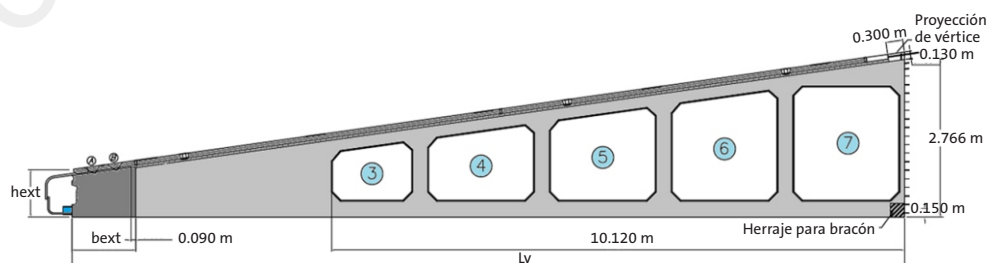
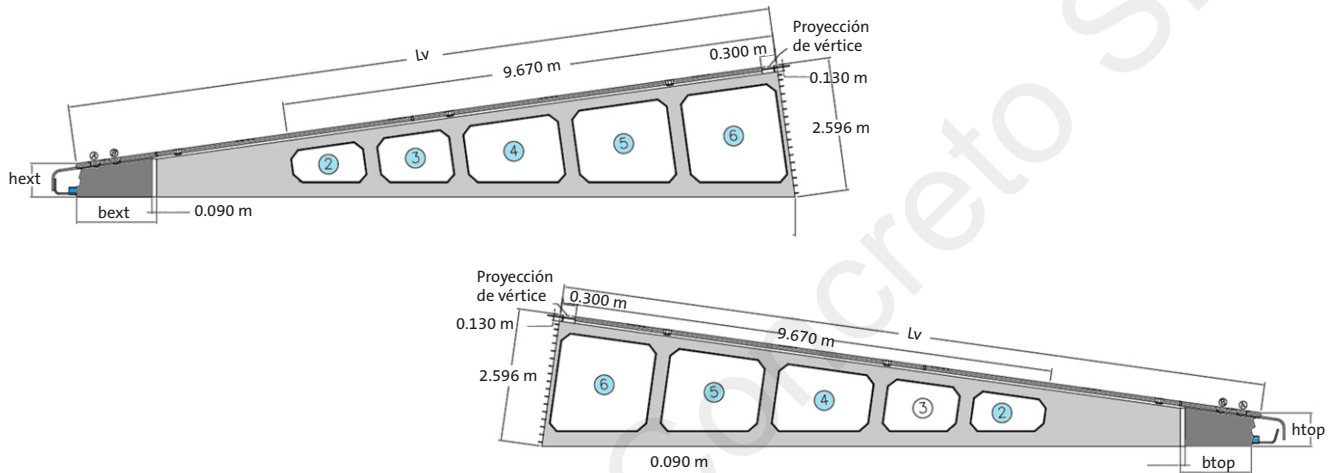


Tabla 12.6 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición invertida

Se consideran a) una junta central de 10 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.20	23.68	11.81	0.831	0.449	0.831	0.211
		25	0.20	24.69	12.32	0.761	0.949	0.761	0.731
		26	0.30	25.70	12.82	0.791	1.449	0.791	1.223
		27	0.30	26.71	13.33	0.721	1.059	0.721	0.853
		28	0.30	27.72	13.83	0.651	1.559	0.651	1.372



Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 29 a 31 m	2.766	29	0.30	28.73	14.34	0.877	0.834	0.877	0.584
		30	0.30	29.74	14.84	0.807	1.334	0.807	1.104
		31	0.30	30.75	15.35	0.737	0.834	0.617	0.630

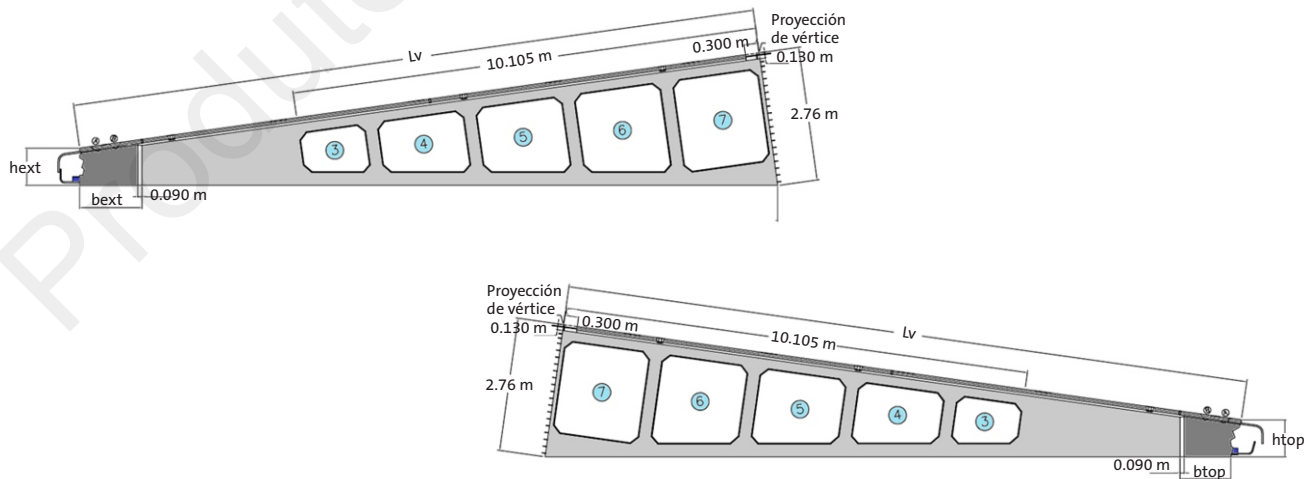
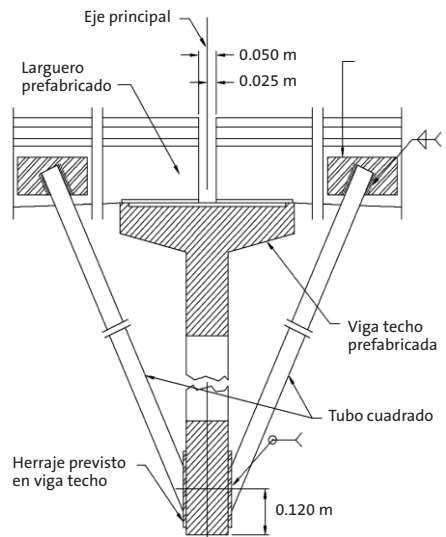


Fig. 12.10 Detalle de instalación de bracones al centro del claro para luces mayores que 24 m.



Las vigas de techo usualmente se transportan en mitades y son ensambladas y postensadas en sitio como se muestra en la figura 12.11.

Fig. 12.11 Ensamblaje y postensado en sitio

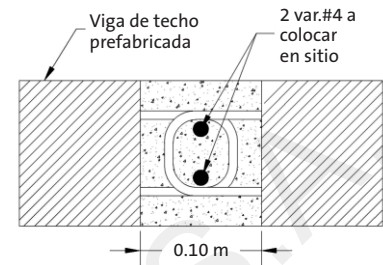


Fig. 12.12 Detalle de unión central de las vigas alma abierta

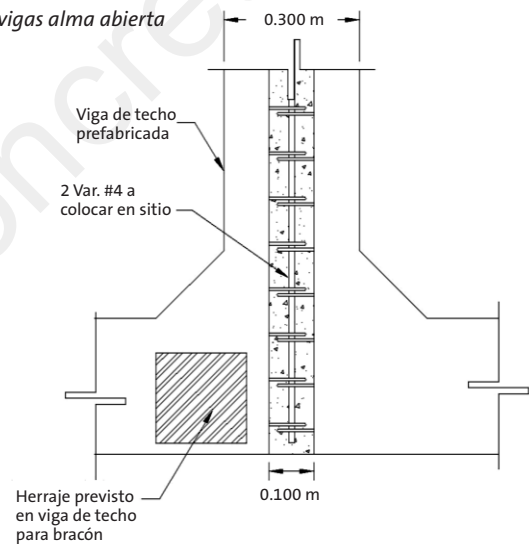
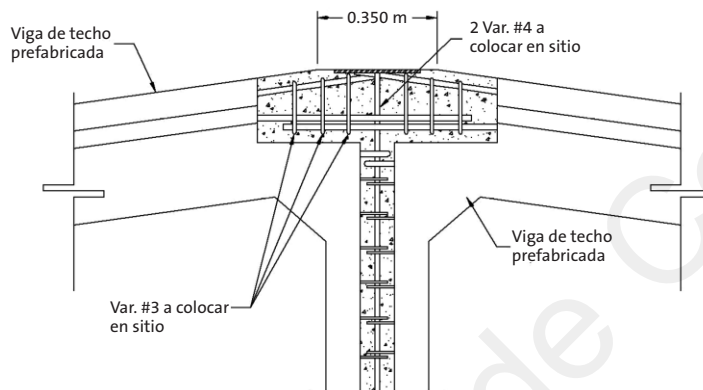
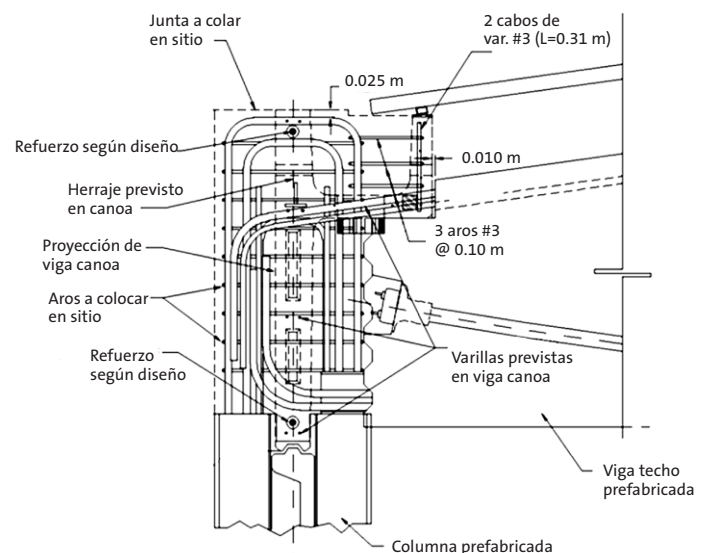


Fig. 12.13 Conexión viga-columna típica

La viga de techo de alma abierta posee varillas de refuerzo en los extremos, según sea necesario, para realizar una conexión húmeda con las columnas en detalles de conexión tal como el que se muestra en la figura 12.13.



Vigas de techo de alma llena

La viga de techo de alma cerrada es conveniente cuando el uso de la nave industrial implica particiones livianas ubicadas sobre los ejes de los marcos. Mediante el uso de esta viga se reduce el área a cerrar, así como la necesidad de cerrar los buques que existen en la viga de alma abierta.

Esta viga de techo permite bajar las pendientes de techo a 6%. En dicho caso, el diseñador debe seleccionar un tipo de lámina de techo adecuado para la pendiente y longitud de techo de tal manera que inhiba las filtraciones. La lámina de techo debe sellar adecuadamente y tener una capacidad hidráulica apropiada.

Además, cuando las pendientes son bajas, la succión ocasionada por el viento se vuelve crítica y puede ocasionar el barrido de los tornillos de fijación de la lámina.

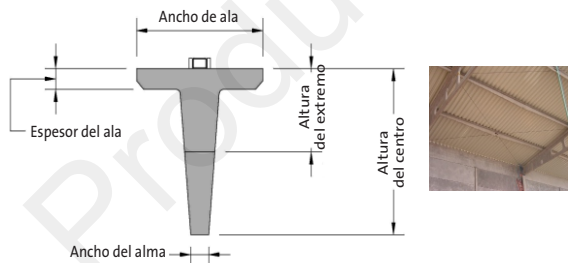
Por todo esto, cuando se empleen vigas de alma llena con pendientes bajas, son recomendables las láminas de tipo cosido con conexión mediante clips.

Largueros

Los largueros son elementos de concreto pretensado de sección variable T altamente optimizados para distancias entre marcos de 12 m, separaciones de 3 a 3.42 m y cargas normales (hasta 35 kg/m de sobrecarga permanente y 40 kg/m de carga temporal).

Usualmente se emplean con láminas de techo del tipo canaleta estructural o bandeja cosida con o sin asilamiento. Pueden ser empleados en luces menores si esto resulta necesario. Pueden ser diseñados para cargas mayores cuando así se requiera.

Fig. 12.14 Dimensiones de los largueros



Dimensiones (m)	Extremo	Centro
Altura	0.20	0.40
Ancho del alma	Variable	0.05
Ancho del ala	0.35	0.35
Espesor del ala	0.05	0.05

Tabla 12.7 Familia de vigas de alma cerrada para su colocación en posición normal

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.45	7.2	0.818
		16	15.45	7.7	0.788
		17	16.45	8.2	0.758
		18	17.45	8.7	0.728
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.45	9.2	0.848
		20	19.45	9.7	0.818
		21	20.45	10.2	0.788
		22	21.45	10.7	0.758
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	23	22.45	11.2	0.728
		24	23.45	11.7	0.848
		25	24.45	12.2	0.818
		26	25.45	12.7	0.788
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	27	26.45	13.2	0.758
		28	27.45	13.7	0.728
		29	28.45	14.2	0.848
		30	29.45	14.7	0.818
		31	30.45	15.2	0.788

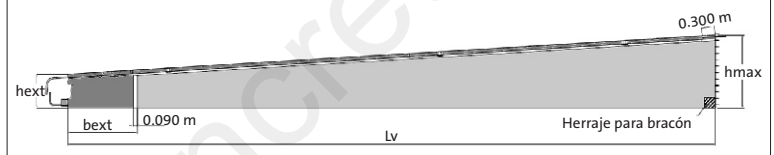


Tabla 12.8 Familia de vigas de alma cerrada para su colocación en posición invertida

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo inferior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.48	7.21	0.812	0.818
		16	15.48	7.71	0.782	0.788
		17	16.48	8.21	0.752	0.758
		18	17.48	8.72	0.722	0.727
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.48	9.22	0.842	0.848
		20	19.48	9.72	0.812	0.818
		21	20.49	10.22	0.782	0.788
		22	21.49	10.72	0.752	0.758
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	23	22.49	11.22	0.722	0.727
		24	23.49	11.72	0.842	0.848
		25	24.49	12.22	0.812	0.818
		26	25.50	12.72	0.782	0.788
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	27	26.50	13.22	0.752	0.758
		28	27.50	13.72	0.722	0.727
		29	28.50	14.23	0.842	0.848
		30	29.50	14.73	0.812	0.818
		31	30.50	15.23	0.782	0.788

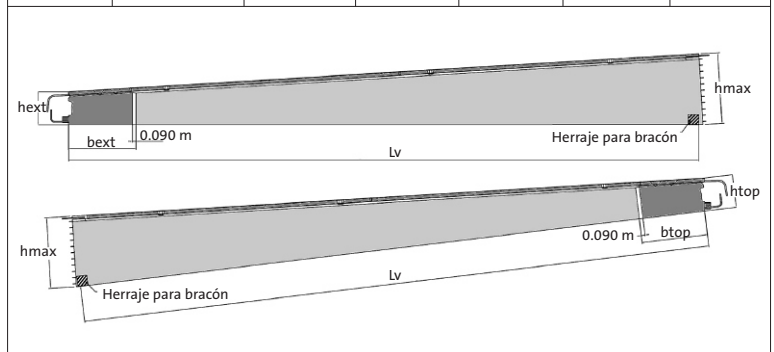
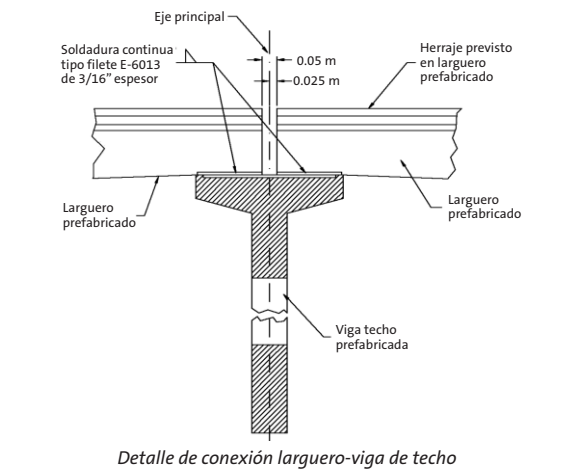
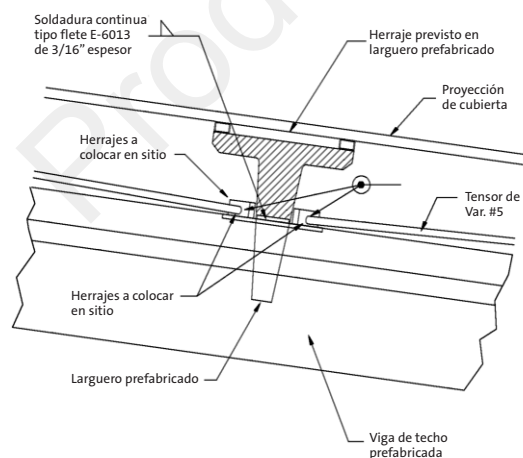
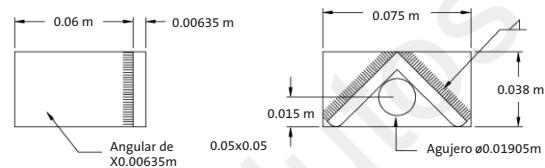
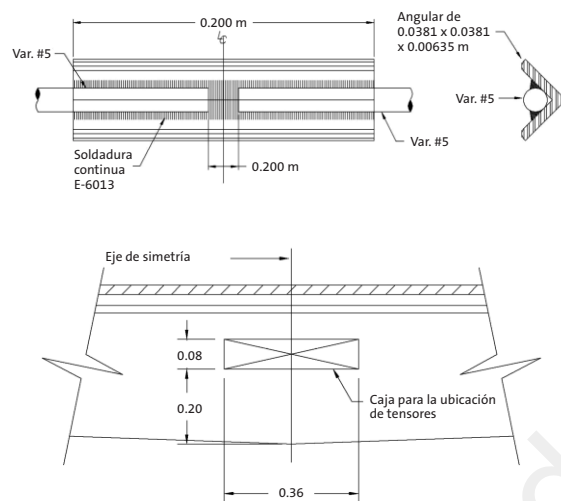


Fig. 12.15 Detalles de conexiones de largueros y tensores

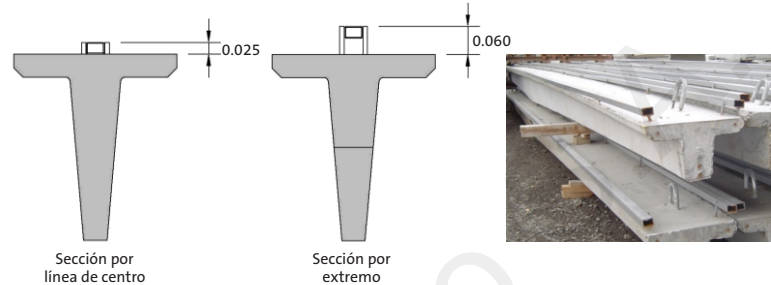


Detalle de conexión larguero-viga de techo



Los principales accesorios de los largueros son uno o dos tubos industriales instalados en su ala, para la conexión con la cubierta de techo, y cajas o aberturas en aquellos largueros que se ubican entre los tensores de techo, para que estos puedan pasar sin problemas entre ellos.

Fig. 12.16 Detalles de ubicación del tubo industrial para la lámina de techo



Viga canoa

La viga canoa cumple una doble función, pues también funciona como viga de amarre estructural. Es un elemento pretensado que se mantiene en compresión para las cargas de servicio. Esto le provee de mayor rigidez que un elemento reforzado y además impide las filtraciones del agua que canaliza. Incluye previstas para la conexión de los bajantes.

Fig. 12.17 Vista transversal de la viga canoa

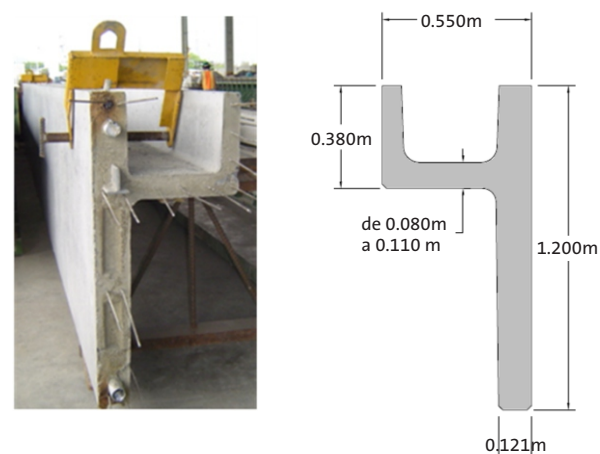
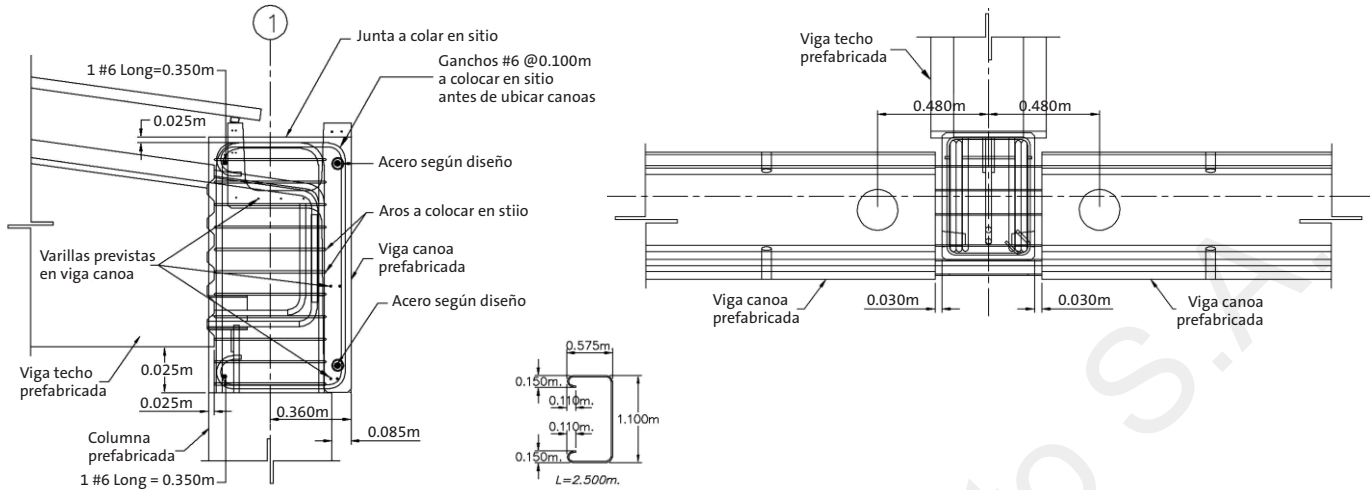


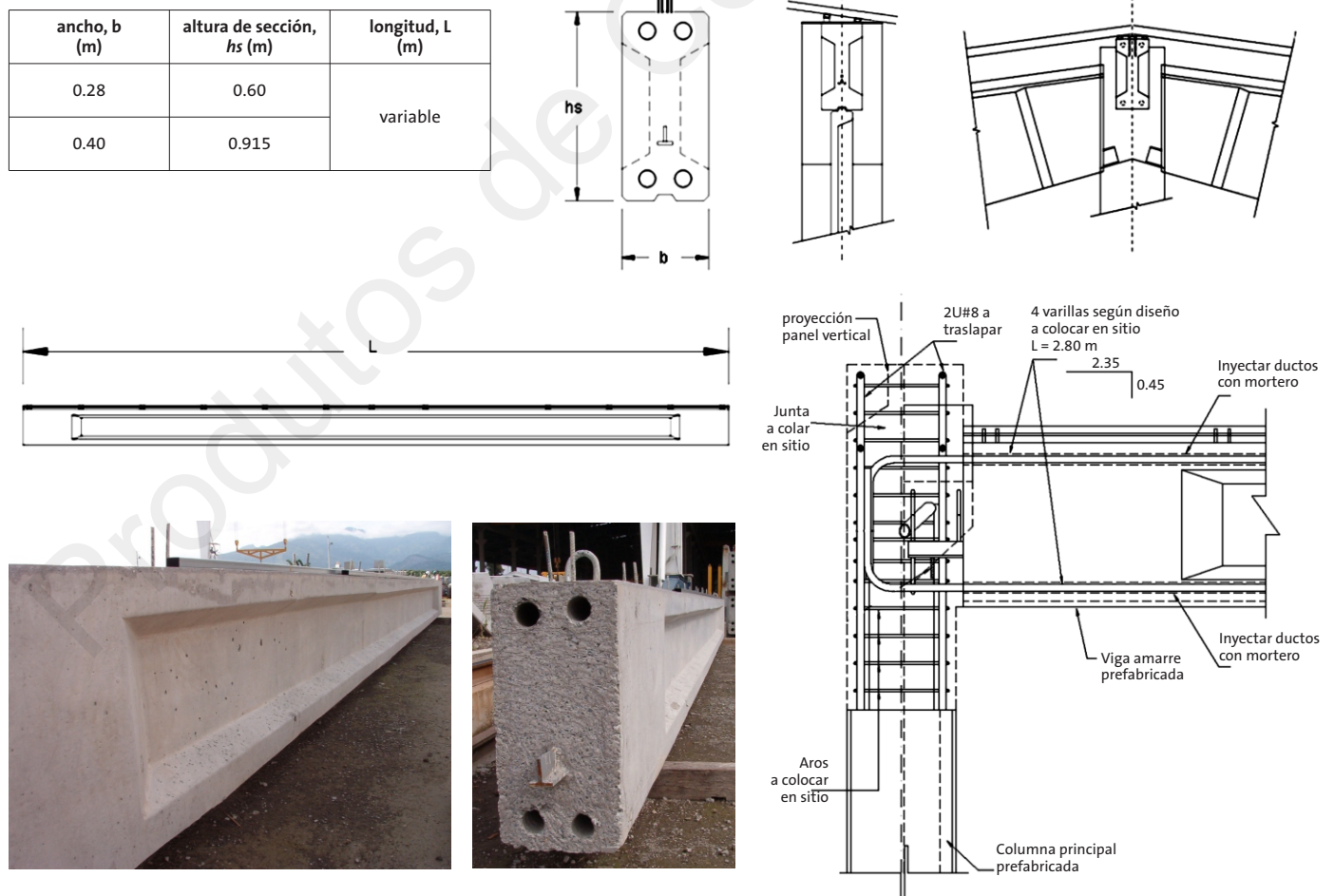
Fig. 12.18 Detalles típicos de conexión viga canoa - columna



Viga de amarre

Se utilizan cuando la viga de techo se emplea invertida para amarrar los marcos en su cumbrera. En estos casos usualmente es necesaria la utilización de vigas de amarre cerca de las cumbreras de los pórticos para controlar los desplazamientos producto de cargas sísmicas. Las vigas de amarre son elementos reforzados sección I.

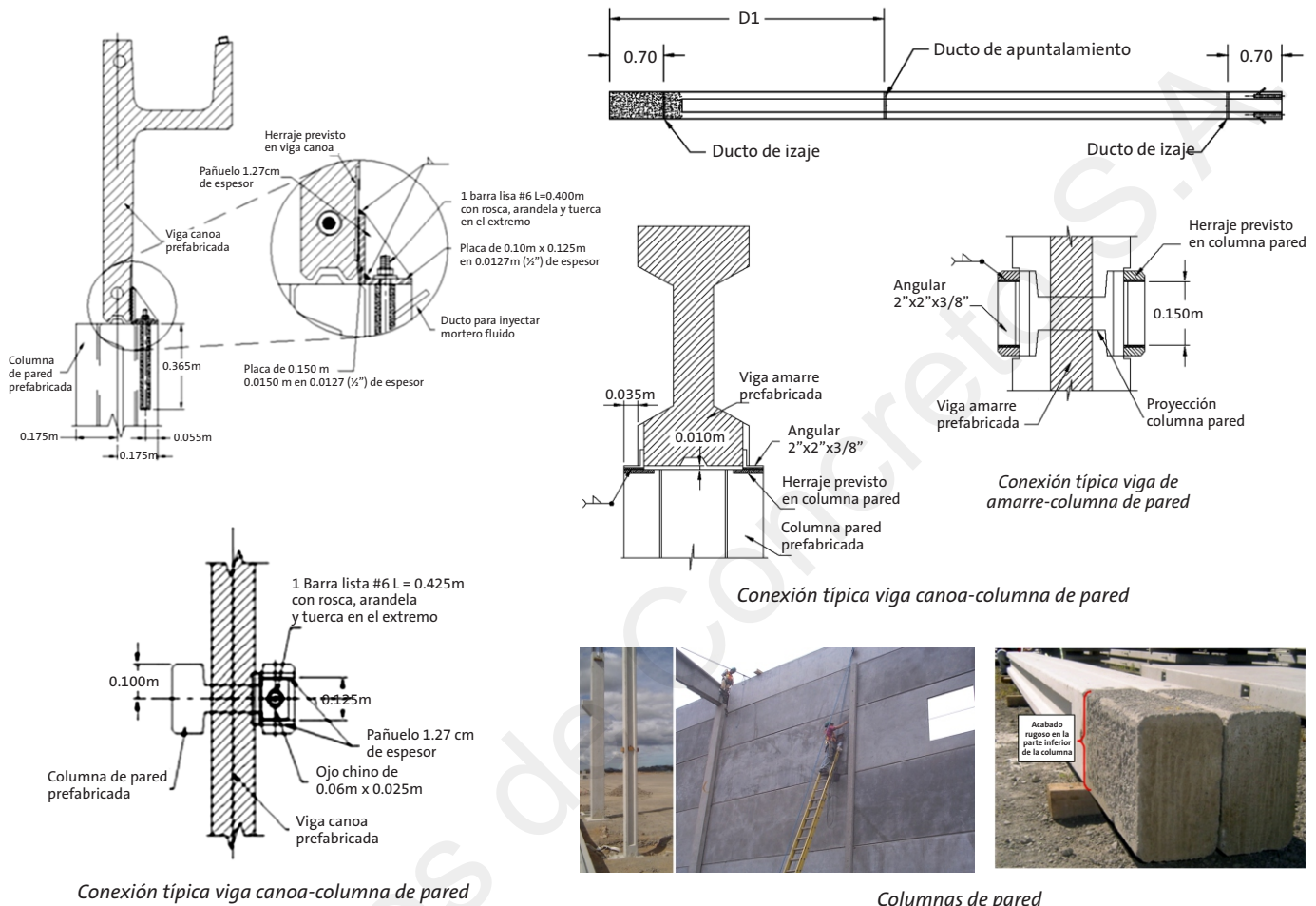
Fig. 12.19 Detalles de vigas de amarre



Columna de pared

Se utilizan cuando se requiere emplear paneles horizontales de 6 m de longitud o bien para crear buques de portones en paredes de paneles horizontales. Es un elemento auxiliar para soporte lateral de paneles. Se inserta en una placa de fundación y se conecta a la viga de amarre o a la viga canoa.

Fig. 12.20 Detalles de columnas de pared



Conexión típica viga canoa-columna de pared

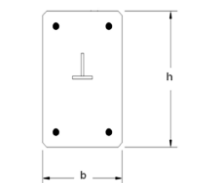
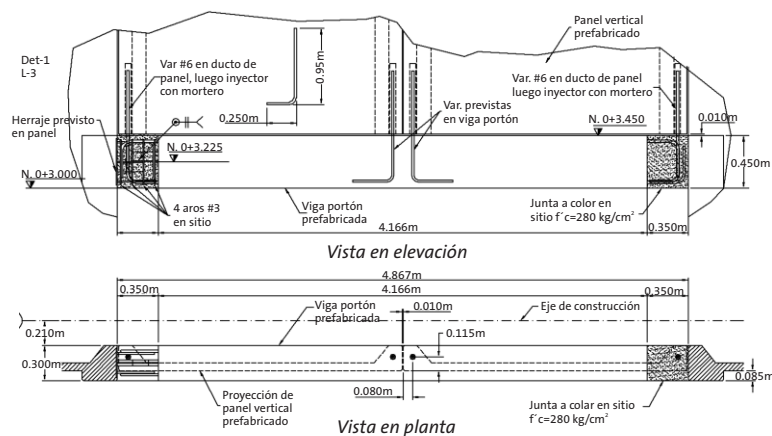
Columnas de pared

Viga portón

Se emplea en conjunto con los paneles verticales para hacer aberturas en las paredes de más de 2.30 m de ancho para uso como accesos y portones. Se une a los nervios de los paneles adyacentes a través de una conexión húmeda colada en sitio.

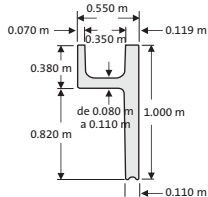
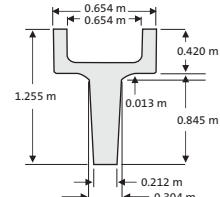
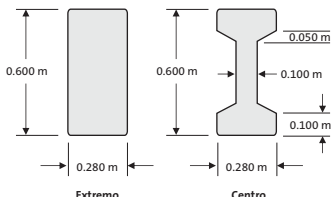
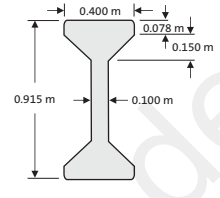
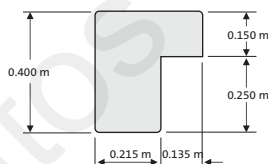
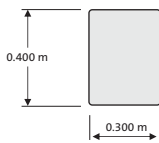
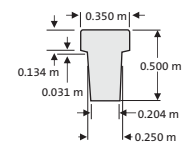
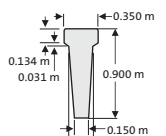
Sobre la viga portón se colocan más paneles verticales para conformar el dintel. Dichos paneles pueden fijarse a la viga portón mediante conexiones soldadas o húmedas mediante acero de refuerzo en ductos.

Fig. 12.21 Detalle de viga portón



Altura (h)	Ancho (b)
0.40	0.30

Tabla 12.9 Secciones estándar de vigas para naves industriales

Elemento		Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación	
			Área transversal A_c (cm ₂)	Inercia I_{xx} (cm ⁴)	Ubicación del centroide y_c (cm)	Resistencia a compresión $f'c$ (kg/cm ₂)	Peso por metro lineal (kg/m)
Vigas (V)	Viga canoa (VCa)		2058	2.27x10 ⁶	69.7	700	515
			4179	4.60x10 ⁶	70.3	700	293
	De amarre (VA)		$A_{centro} = 1050$	$I_{centro} = 4.38 \times 10^5$	$y_{centro} = 30.0$	350	341
			$A_{extremo} = 1050$	$I_{centro} = 5.04 \times 10^5$	$y_{extremo} = 30.0$		
			1833	1.95x10 ⁶	45.75	350	458
	Ménsula (VM)		1063	1.44x10 ⁵	22.4	350	266
	Portón (VP)		1200	1.60x10 ⁵	20	350	300
Carrilera (Vc)		1232	2.47 x 10 ⁵	29	350	308	
		2032	1.40 x 10 ⁶	51.5	350	508	

Viga carrilera

Se fabrica en longitudes de hasta 12 m. Es una viga especialmente diseñada para soportar el tránsito de grúas viajeras. Se coloca simplemente apoyada en ménsulas previstas en las columnas.

Fig. 12.22 Viga carrilera



Paneles horizontales

Los paneles horizontales son elementos pretensados nervados que pueden ser empleados en luces de hasta 12.5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas.

Se fabrican en anchos de 2.31 y de 2.44 m. Pueden fabricarse paneles con anchos menores (de ajuste) si resulta necesario para completar la modulación. (Ver capítulo 9 sobre paneles y fachadas).

Paneles Lex-panel

Los paneles horizontales con base en losa Lex son elementos pretensados alveolares que pueden ser empleados en luces de hasta 12.5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas. Se fabrican en ancho de 1.22 m. Pueden fabricarse paneles con anchos menores (de ajuste) si resulta necesario para completar la modulación (ver capítulo 9 sobre paneles y fachadas).

Paneles verticales

Los paneles verticales se fabrican con alturas hasta los 18 m y poseen la misma sección transversal de los paneles horizontales (PH). Se colocan e integran a una placa de fundación corrida colada in situ. Se pueden emplear como cerramiento o pueden ser integrados a la estructura cuando esto resulte necesario. Poseen una ménsula para el apoyo de los largueros cuando son empleados en los ejes externos de los marcos de carga (ver capítulo 9 sobre paneles y fachadas).

Los paneles pueden colocarse con las nervaduras hacia afuera o hacia adentro para lograr acabados de fachada arquitectónica. Cuando las nervaduras se emplean hacia adentro se requiere un elemento auxiliar que actúe como ménsula para los largueros (viga ménsula). Los paneles pueden producirse con puertas y ventanas pequeñas de hasta 1.2 m de ancho.

Importante: en caso de requerirse el uso de buques, éstos deberán ser entre nervaduras. Si se requieren de mayor tamaño, se debe emplear una viga portón. Es recomendable que el ancho del buque sea en múltiplos del ancho del panel.

Viga ménsula

Es una pieza auxiliar de concreto reforzado empleada para el soporte de los largueros en las paredes de panel vertical cuando el panel se emplea con las nervaduras hacia adentro. Alternativamente, puede emplearse una viga de techo de alma abierta o cerrada.

Fig. 12.23 Vigas ménsula con la unión sin colar
Se nota la pendiente del 14% para la cubierta de techo.



Otros elementos que pueden adaptarse al sistema son:

- Muros de retención para andén en Losa Lex (capítulo 10).
- Entrepisos para andén (vigas, columnas y vigueta o Losa Lex, capítulo 8).
- Fundaciones profundas prefabricadas, como pilotes (capítulo 5).
- Monitores de concreto como el que se muestra en la siguiente fotografía.

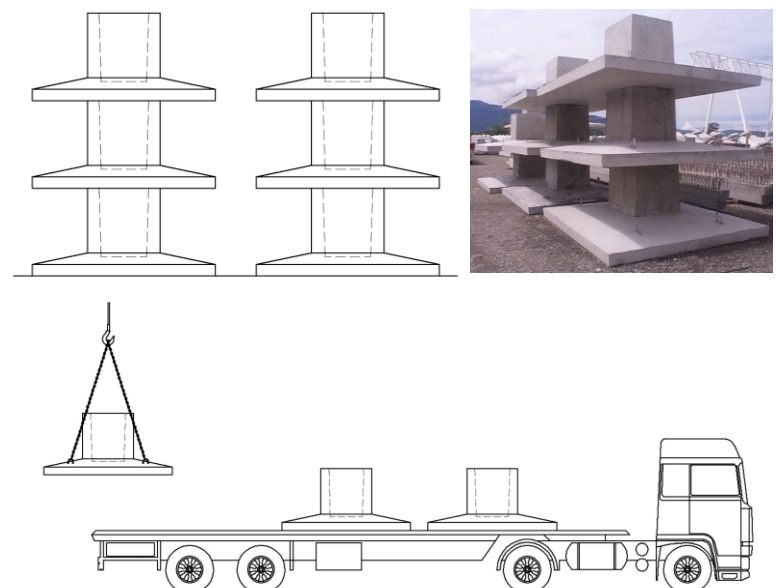


Nave industrial Durman Esquivel, Coyol de Alajuela: uso de monitores de concreto.

12.5 La construcción de naves industriales

Transporte, manipulación, almacenamiento y montaje

Fig. 12.24 Almacenamiento e izaje de placas de fundación





Instalación de placas: a) Trazado b) Excavación c) Revisión de niveles d) Sello de concreto pobre e) Montaje y compactación f) Compactación

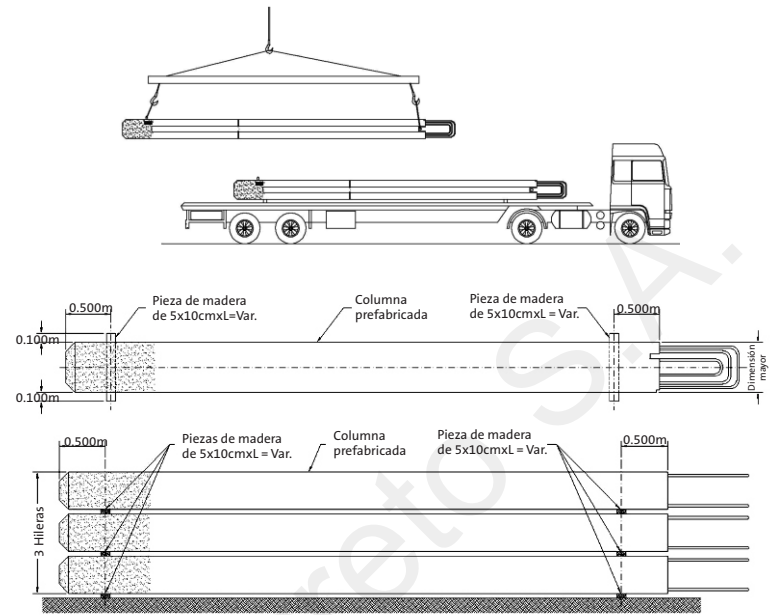


Fig. 12.26 Almacenamiento e izaje de columnas



Instalación de columnas: a) y b) Izaje c) Inserción d) Calzas para verticalidad e) Revisión del plomo f) Llenado de junta

Como regla general, todos los elementos preesforzados de tipo viga (largueros, vigas de techo, canoas) siempre deben almacenarse y manipularse sin rotarlas, nunca en torno a su eje.



a) Alineado de las vigas de techo en sitio para el colado de la junta central y postensado. b) Izaje de las vigas de techo.